

La huella hídrica, un indicador de impacto en el uso del agua

Water footprint, an impact indicator in water use

Claudia María Cardona¹

Bernardo Congote Ochoa²

Fecha de recepción: febrero de 2013

Fecha de aprobación: abril de 2013

Resumen

El desarrollo económico del país ha presentado grandes beneficios para el bienestar de la población y para el mejoramiento de sus niveles de vida. Sin embargo, ha traído consigo también una serie de cambios en la percepción de los Recursos Naturales, dicha transformación se ha manifestado en uno de los componentes de vital importancia: “El agua”. Los valores extremos (inundaciones o sequías) son problemáticas que afectan de manera directa las condiciones sociales de la población, como es el caso de la desnutrición, la tugurización de las ciudades, las condiciones antisaneitarias, la falta de servicios públicos, el mal uso del suelo, la miseria y el hambre. Una visión de sustentabilidad está en “medir” la huella hídrica en unidades de planificación de los bienes y servicios ambientales, es decir, en el esquema de ordenamiento territorial y en la ordenación de la cuenca hidrográfica.

Este artículo provoca a una reflexión sobre los modelos utilizados para realizar estas mediciones matemáticas que, aunque ajustadas a las realidades del contexto, se alejan mucho de los valores culturales, políticos y éticos a la hora de una planificación para el manejo y una inclusión social con limitantes desde las funciones ecosistémicas del capital natural del agua como recurso invaluable.

Palabras clave: recurso hídrico, huella hídrica, sustentabilidad, valores éticos, culturales y políticos, modelado de la huella hídrica.

Abstract

The colombian economic development offers a lot benefits to population welfare in order to improve the standard of living. However, it has involved through a lot of changes in the perception of Natural Resources expressed in water as a vital component. Outliers such as floods or droughts are issues that affect directly the people social condition, such as disnutrition, slums of cities, anty-sanitary life conditions, lacking of public services, poor land use, poverty and hunger. A sustainability vision induces to measure the water poorprint in planning units of Enviromental Goods of Services (i.e.: zonal scheme and management of the watershed). This article induces a reflection about the models used to perform these mathematical measurements that if certainly adjusted to context, are far away of cultural, political and ethical planning values limiting the operation of social inclusion operating within ecosystem functions in order to build a water as an invaluable natural capital.

Keywords: Water Resources, water footprint, sustainability, ethical, cultural and political, modeling of the water footprint

1 Ingeniera agrícola. Especialista en Docencia Universitaria. Magíster en Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos. Estudios Avanzados en Investigación. Docente de planta, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

2 Magíster y economista. Profesor de planta, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Introducción

Uno de los indicadores utilizados para medir el impacto en el uso del agua es la huella hídrica (HH), que es el volumen total de agua usada directa o indirectamente por una persona, producto, cultivo, proceso o nación (Hoekstra *et al.*, 2009), este concepto está íntimamente relacionado con el agua virtual (AV), que representa el volumen de agua utilizado en la producción de un *commodity*, bien o servicio (Allan, 1997, 1999; Hoekstra, 2003).

Analizar el agua virtual y la huella hídrica hace explícita la cantidad de agua que se requiere para producir diferentes bienes y servicios. Por lo tanto, cuantificar estos dos índices permitirá obtener información que permite promover el uso eficiente del agua y la adopción de nuevas tecnologías.

Este concepto fue introducido por Hoekstra (2002) con el fin de tener un indicador, basado en el consumo del agua, que permitiera tener información para la toma de decisiones en cuanto a políticas en el uso del agua, ya que la información que se tenía hasta ese momento no le daba la importancia a la cantidad de agua consumida. Sin embargo, el consumo de agua no es solo el volumen de agua que una persona o un país utiliza, sino que hay agua contenida en productos importados de otros países. Por lo tanto, si no se tiene en cuenta ese volumen de agua se está subestimando el volumen total de agua utilizado (Chapagain y Hoekstra, 2004).

Las primeras evaluaciones de HH fueron realizadas en 2002 y 2003 por Hoekstra y Hung, y Chapagain y Hoekstra respectivamente. En estas se cuantificaron los flujos de agua virtual entre naciones y, en especial, los flujos de agua virtual en la ganadería y sus productos. Sin embargo, el concepto de agua virtual ya había sido desarrollado por Allan en 1994, con el fin de evaluar las posibilidades de importar agua para solucionar los problemas de escases del recurso en el Medio Oriente.

A partir de estos estudios se desprendieron otras investigaciones que evaluaban la HH de las naciones, las personas y productos y cultivos, especialmente, en la Unión Europea.

En el 2004, Chapagain y Hoekstra publicaron el informe principal sobre HH, donde de manera amplia se describen los procesos y los cálculos para determinar la HH. En este informe se encuentran las fórmulas para el cálculo de la HH de una nación, así como los cálculos de la huella hídrica agrícola (HHA) y la huella hídrica del sector industrial (HHI). Además, se analiza el agua virtual de las naciones y productos. Adicionalmente, al final del documento están los datos necesarios para el cálculo de la HH. En el 2006, Chapagain *et al.* analizaron la HH global del consumo del algodón y los impactos por contaminación de la producción de este, que consume 256 Gm³ de agua por año y cuyo mayor consumo se encuentra por fuera de Europa, más exactamente, en India y Uzbekistán.

Para 2007, los estudios de HH se hicieron más específicos en sectores y productos. El trabajo de Chapagain y Hoekstra (2007a) de

HH sobre el consumo de café y té en los Países Bajos tenía como objetivo evaluar la HH global del consumo de dichas bebidas en la sociedad. El trabajo concluyó que gran parte del volumen de agua del café y del té provenía de Colombia y Brazil, y de China y Sri Lanka, respectivamente. Otro trabajo de estos autores evaluó la HH de Marruecos, un país con épocas secas prolongadas, y de los Países Bajos, un país húmedo. Este concluyó que los dos países, sin importar las condiciones de humedad o sequía, importan más agua (como agua virtual) que la que exportan, situación que los hace dependientes de los recursos de agua globales (Chapagain y Hoekstra, 2007b).

En España también se han realizado trabajos en HH. El proyecto Análisis de la Huella Hidrológica y del Comercio de Agua Virtual en España pretende evaluar la aplicación de los conceptos de HH y AV en la gestión de los recursos hídricos —las publicaciones de este proyecto se pueden tener en línea en la página de la Fundación Marcelino Botín—. Uno de los estudios de este proyecto analizó el agua virtual y la huella hídrica, desde la perspectiva hidrológica y económica, de la cuenca Guadiana, con el objetivo de hacer más eficiente el uso del recurso agua y asegurar su disponibilidad a largo plazo. Por otra parte, Rodríguez *et al.* (2008a y 2008b) estimaron la huella hídrica de la agricultura Española, a partir del consumo de agua azul y agua verde. La HH de la agricultura Española equivale al 80 % del HH del país y es de 1150 m³ de agua per cápita al año.

Para el 2009, el tema del cambio climático y la disminución de gases de efecto invernadero impulsaron estudios de HH en temas energéticos. El estudio de Khan *et al.* (2009) permitió identificar las rutas principales para reducir la HH y concluir que la promoción del uso eficiente del agua en las operaciones de producción agrícola es la ruta principal para reducir la HH. Por otra parte, Gербens-Leenes *et al.* (2009) realizaron una descripción de las HH de doce cultivos destinados a la producción de bioenergía (cebada, maíz, papa, arroz, sorgo, soya, caña de azúcar, remolacha, yuca, trigo, colza y centeno) y concluyeron que la HH de la bioelectricidad es menor que la HH de los biocombustibles, de igual manera que la HH del bioetanol es menor que la del biodiésel.

En temas agrícolas también se han desarrollado estudios en diferentes cultivos. Chapagain y Orr (2009) calcularon la HH para temas más específicos y localizados del área agrícola. En este trabajo se analizó la HH de la producción de tomates bajo invernadero y se comparó el método de HH con el análisis de ciclo de vida ACV. La HH de tomates bajo invernadero es de 297 Mm³ por año.

Bulsink *et al.* (2009) cuantificaron los flujos de agua virtual AV relacionados con el comercio de productos agrícolas y determinaron la HH del consumo de productos agrícolas en Indonesia.

La última publicación en el tema de HH es el *Manual de Huella Hídrica* (2009), escrito por Hoekstra *et al.*, donde se encuentra toda la información relacionada con la HH y los métodos y cálculos para diferentes sectores agrícolas e industriales, así como para las naciones, productos y personas.

En Colombia los estudios de HH son escasos y han estado a cargo de investigadores de la Universidad del Valle en el Instituto Cinara. Pérez (2007a) presentó los impactos en el uso del agua en la agricultura colombiana, y realizó un análisis desde el 1960 hasta 2004. En su libro *Comercio internacional y medio ambiente en Colombia*, Pérez (2007b) hace un análisis completo de la situación ambiental de la agricultura colombiana a través del comercio internacional. Además, realiza un estudio de caso en la cuenca del río Bolo, donde analizó la HH de la cuenca durante el periodo de 1960 a 2004.

La HH se puede evaluar en diferentes escalas desde el ámbito personal, pasando por sectores productivos, productos, cuencas hidrográficas y países (figura 1).

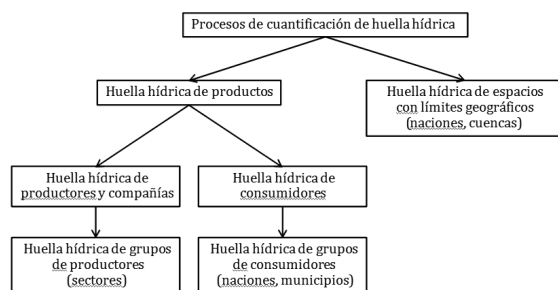


Figura 1. Procesos de cuantificación de huella hídrica

Fuente: Hoekstra *et al.* (2009).

La figura 2 muestra las etapas para el cálculo de la HH.

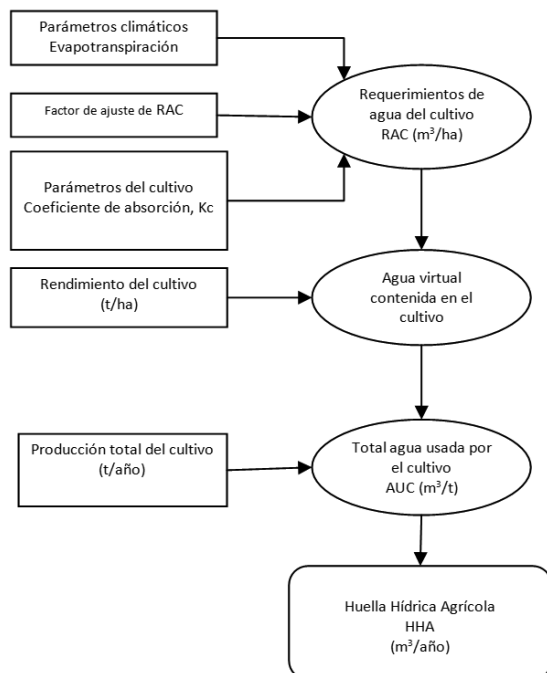


Figura 2. Etapas para calcular la huella hídrica agrícola

Fuente: modificado de Pérez (2007) y Chapagain y Hoekstra (2004).

Método para el cálculo de la huella hídrica

Para cuantificar la HH de una cuenca hidrográfica se deben tener en cuenta los sistemas de producción agropecuarios e industriales dentro de la cuenca, calcular la HH agrícola para cada sistema y luego sumar todas las HHA calculadas. La huella hídrica agrícola HHA cuantifica el volumen total de agua usado para la producción de un producto agrícola (Hoekstra *et al.*, 2009).

La huella hídrica agrícola *HHA* es el volumen total de agua usada para la producción agrícola en la cuenca hidrográfica (*AUA* m³/año).

$$HHA = AUA = \sum_{c=1}^n UAC[c] \quad (1)$$

El cálculo de la HH total de la cuenca es el siguiente:

$$HHA = AUA = UAC[c] \quad (2)$$

El uso de agua del cultivo (*UAC* m³/año) es el volumen total de agua usada para producir una cantidad determinada de toneladas de un cultivo [*c*].

$$UAC[c] = RAC[c] \times \frac{\text{Producción } [c]}{\text{Rendimiento } [c]} \quad (3)$$

Donde, *RAC* [*c*] (m³/ha) corresponde a los requerimientos de agua de un cultivo medidos en campo; la *Producción* es el volumen total del cultivo [*c*] producido durante el año (t/año) y el *Rendimiento* es el volumen de producción del cultivo [*c*] por unidad de área de producción (t/ha).

El *requerimiento de agua de un cultivo (RAC)* es el total de agua necesaria para la evapotranspiración del cultivo durante todo el proceso (siembra-cosecha). Los *RAC* equivalen a la cantidad de agua necesaria para el crecimiento y desarrollo de la planta, y se calcula por la acumulación de datos de evapotranspiración diaria del cultivo ET_c (mm/día) a lo largo del periodo de crecimiento.

$$RAC[c] = 10x \sum_{d=1}^{lp} ET_c[c, d] \quad (4)$$

El factor de 10 permite convertir los mm/m² en m³/ha, y la sumatoria es la realizada durante todo el periodo de cultivo desde el primer día de la siembra, hasta el final de la cosecha (*lp* es la cantidad de días del periodo de crecimiento del cultivo).

La evapotranspiración ET_c del cultivo por día resulta de multiplicar la evapotranspiración de referencia ET_0 por el coeficiente del cultivo K_c .

$$ET_c [c] = K_c [c] \times ET_0 \quad (5)$$

El poder de evapotranspiración de la atmósfera ET_0 es el valor de evapotranspiración para una localización y tiempo específico, que no tiene en cuenta las características del cultivo ni los factores del suelo (Allen *et al.*, 1998).

El agua virtual contenida en un cultivo AVC_c es un indicador de eficiencia en el uso del agua por tonelada de bien agrícola producido y se calcula así:

$$AVC [c] = \frac{UAC [c]}{\text{Producción} [c]} \quad (6)$$

El contenido de agua contaminada se calcula como la tasa de aplicación de agroquímicos (AR) por hectárea por la fracción de lixiviación (α), dividido por la máxima concentración aceptable menos la concentración natural de sustancias químicas, todo esto dividido por el rendimiento del cultivo:

$$HHA_{cont} = \frac{(\alpha \times AR) / (c_{max} - c_{nat})}{\text{Rendimiento}} \quad (7)$$

También se puede calcular la HH de la siguiente manera:

$$HHA = HHA_{verde} + HHA_{azul} + HHA_{gris} \quad (8)$$

El componente de agua verde de un cultivo se expresa como el volumen de agua natural (lluvia, superficial o subterránea) usada por el cultivo con relación a la producción total del cultivo.

$$HHA_{verde} = \frac{AUC_{verde}}{P} \quad (9)$$

Donde AUC_{verde} es el agua verde usada en el cultivo expresada como m³/ha y P es la producción t/ha.

El componente de agua verde se expresa como el volumen de agua de riego usada por el cultivo, con relación a la producción del cultivo.

$$HHA_{azul} = \frac{AUC_{azul}}{P} \quad (10)$$

Donde AUC_{azul} es el agua verde usada en el cultivo expresada como m³/ha y P es la producción t/ha.

El componente de agua gris de un cultivo se expresa como la tasa de aplicación química por hectárea con relación a los parámetros máximos permitidos de sustancias químicas en el agua.

$$HHA_{gris} = \frac{(\alpha \times AQ) / (C_{max} - C_{nat})}{P} \quad (11)$$

Donde a es la fracción de aplicación, AQ es la aplicación química por hectárea, C_{max} es la concentración máxima permitida de sustancias químicas, C_{nat} es la concentración natural de sustancias químicas y P es la producción t/ha.

Datos requeridos para calcular huella hídrica

Los datos requeridos para calcular la evapotranspiración de la HHA utilizada son:

1. Parámetros climáticos: se pueden utilizar datos de estaciones meteorológicas cercanas del Ideam.
 - Temperatura media y máxima.
 - % de humedad.
 - Velocidad del viento.
 - Insolación.
 - Precipitación media.

2. Parámetros del cultivo:
 - Etapas.
 - Duración de las etapas.
 - Altura del cultivo.
 - Profundidad radicular.
 - Agotamiento crítico.
 - Fracción de respuesta de rendimiento.
3. Datos de producción:
 - Área sembrada.
 - Producción anual.
4. Datos edáficos:
 - Humedad del suelo disponible total.
 - Tasa máxima de infiltración de la precipitación.
 - Profundidad radicular máxima.
 - Agotamiento inicial de humedad del suelo.
 - Humedad del suelo inicialmente disponible.
5. Información de fertilizantes y pesticidas.
 - Tasas de aplicación.
 - Fracción de lixiviación.
6. Estándares de calidad de agua.
7. Concentraciones normales de sustancias tóxicas.

Una reflexión final

En el estudio de un proyecto productivo, la unidad agrícola familiar (UAF) es definida como la unidad básica de producción agrícola, pecuaria, acuícola o forestal, cuya extensión, conforme a las condiciones agroecológicas de la zona y con tecnología adecuada, permite a la familia remunerar su trabajo y disponer de un excedente capitalizable que coadyuve a la formación de su patrimonio.

Se podría suponer que una adecuada inclusión del uso del agua en el sistema productivo agrícola implicará un cálculo de la HHA, que permita medir las obligaciones que asume el propietario y su familia al sujetarse a las reglamentaciones existentes sobre uso y protección de los recursos naturales renovables, así como a las disposiciones sobre caminos y servidumbres de tránsito y de aguas.

En el caso bogotano, la Política Pública Distrital de Ruralidad asocia el agua como elemento esencial para la seguridad alimentaria, la agricultura y toda forma de vida. Por ello, se estructura, en buena medida, alrededor de la construcción de una cultura del agua, asumida como un derecho humano fundamental, indispensable para una vida digna y la realización de otros derechos, un bien público natural y un bien meritorio.

Estos tres conceptos, huella hídrica agrícola, unidad agrícola familiar y política pública de ruralidad, serán un tema de gran relevancia para el desarrollo de Bogotá ciudad región, prosperidad para todos.

¿Qué se espera para las próximas investigaciones?

Realizar una primera aproximación de las *percepciones* sociales de aquellos propietarios y sus familias, que han sido codificadas dentro de una UAF, producto de la Ley 135 de 1961, “Ley de la Reforma Agraria”, de manera que se puedan definir las *metáforas de familias campesinas*, asociadas a la categoría de *calidad de vida*, representada por ingresos familiares desde el sector productivo, para cubrir las necesidades básicas (seguridad alimentaria).

Referencias

- Chapagain, A. K. y Hoekstra, A. Y. (2003). *Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products* (Reporte de investigación Serie No. 13). Recuperado de <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report13.pdf>
- Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y. (2004). Water Footprints of Nations (Value of Water Research Report Series, vol. 16). Delft, The Netherlands: UNESCO-IHE. Recuperado de www.waterfootprint.org
- Chapagain, A. K. Hoekstra, A. Y., Savenije, H. H. G. y Gautam, R. (2006). The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological Economics*, 60, 186-203.
- Chapagain, A. K. y Hoekstra, A. Y. (2007a). The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands. *Ecological Economics*, 64, 109-118.
- Chapagain, A. K. y Hoekstra, A. Y. (2007b). The water footprints of Morocco and the Netherlands: Global water use

- as a result of domestic consumption of agricultural commodities. *Ecological Economics*, 64, 143-151.
- Chapagain, A. K. y Orr, S. (2009). An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: a case of Spanish tomatoes. *Journal of Environmental Management*, 90, 1219-1228.
- Hoekstra, A. Y. y Hung, P. Q. (2002). *Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade* (Reporte de investigación Serie No. 11). Recuperado de <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report11.pdf>
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M. y Mekonnen, M. M. (2009). *Water Footprint Manual. State of the Art 2009*. Recuperado de <http://www.waterfootprint.org/downloads/WaterFootprintManual2009.pdf>
- Pérez, M. A. (2007a). Dinámica económica, comercio internacional y uso del agua en la agricultura colombiana: balance nacional y local para los últimos cuarenta y cinco años. *Economía, Gestión y Desarrollo*, 5, 141-157.
- Pérez, M. A. (2007b). *Comercio internacional y medio ambiente en Colombia. Mirada desde la Economía Ecológica*. Cali: Programa Editorial Universidad del Valle.